

**Piston ring for piston engine, with diamond-like coating**

**Publication number:** DE19825860  
**Publication date:** 1999-12-16  
**Inventor:** SCHMID JOSEF (DE)  
**Applicant:** ELGAN DIAMANTWERKZEUGE GMBH & (DE)  
**Classification:**  
- international: **F16J9/26; F16J9/26;** (IPC1-7): F16J9/26; F02F5/00  
- European: F16J9/26  
**Application number:** DE19981025860 19980610  
**Priority number(s):** DE19981025860 19980610

**Report a data error here**

**Abstract of DE19825860**

A piston engine piston ring (5) made in stainless steel has a coating of DLC (diamond-like carbon) (15) on its outer circumference. The DLC is extremely hard and minimizes friction between the piston and cylinder lining.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19

BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12

Offenlegungsschrift

10

DE 198 25 860 A 1

51

Int. Cl.<sup>6</sup>:  
F 16 J 9/26  
F 02 F 5/00

21

Aktenzeichen:

198 25 860.7

22

Anmeldetag:

10. 6. 98

43

Offenlegungstag:

16. 12. 99

DE 198 25 860 A 1

71

Anmelder:

Elgan-Diamantwerkzeuge GmbH & Co. KG, 72622  
Nürtingen, DE

74

Vertreter:

Patentanwälte Ruff, Beier und Partner, 70173  
Stuttgart

72

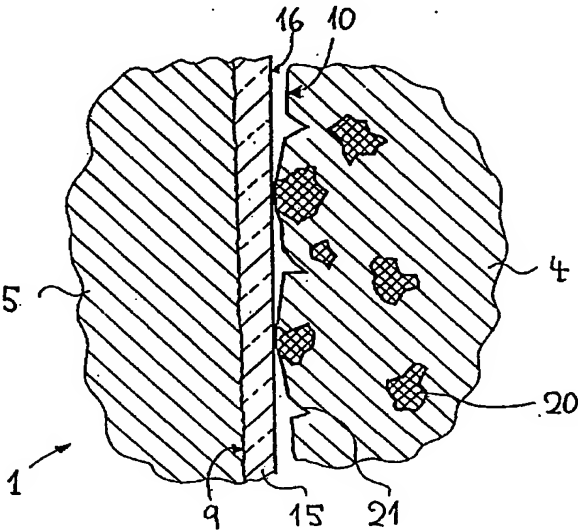
Erfinder:

Schmid, Josef, 72582 Grabenstetten, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

- 54
- Kolbenring und seine Verwendung
- 57
- Es wird ein Kolbenring beschrieben, der für die Verwendung an einem Kolben vorgesehen ist, der in einem Zylinder einer Arbeits- oder Kraftmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors, läuft. Der Kolbenring hat einen Ringkörper (5) aus rostfreiem Stahl, der an seinem Umfang eine Beschichtung (15) hat, die eine zur Gleitberührung mit der Zylinderinnenfläche (10) vorgesehene Ringaußenfläche (16) bildet. Die Beschichtung (15) besteht im wesentlichen aus diamantartigem Kohlenstoff (DLC). Das Material der Hartstoffschicht (15) ist extrem verschleißfest und zeigt nur geringe Gleitreibung und Adhäsionsneigung gegenüber dem Material der Zylinderinnenwand. Erfindungsgemäße Kolbenringe sind besonders vorteilhaft, wenn der Laufpartner durch eine partikelverstärkte Zylinderwandung gebildet ist.



DE 198 25 860 A 1

## DE 198 25 860 A 1

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Kolbenring für die Verwendung an einem Kolben, der in einem Zylinder einer Kraft- oder Arbeitsmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors, angeordnet oder anordenbar ist.

Bei Kolbenringen für Verbrennungsmotoren unterscheidet man allgemein zwischen Verdichtungsringen bzw. Kompressionsringen und Ölabbstreifringen. Verdichtungsringe übernehmen die Feinabdichtung des Kolbens im Zylinder gegenüber der Zylinderinnenfläche und können ggf. zur Wärmeableitung vom Kolben zum gekühlten Zylinder beitragen. Ölabbstreifringe dienen zum Abstreifen überschüssigen Schmieröls von der Zylinderinnenfläche und zur Rückführung dieses Schmieröls in die Ölwanne. Dadurch soll unter anderem verhindert werden, daß das Öl aus dem Kurbelgehäuse in den Verbrennungsraum gelangt, was einen größeren Ölverbrauch und Schadstoffemission durch verbranntes Öl zur Folge hätte. Bei ohne Schmierung der Lauffläche arbeitenden Maschinen, beispielsweise Arbeitsmaschinen wie Kompressoren zur Gasverdichtung, können Ölabbstreifringe entfallen.

Ein Kolbenring muß elastisch sein, um einen gewissen Anpreßdruck an die Zylinderinnenfläche bzw. Zylinderwand bereitzustellen. Der Anpreßdruck an die Zylinderinnenwand wird, insbesondere bei dem dem Arbeitsraum der Kolbenmaschine am nächsten liegenden Kolbenring, während des Betriebes noch durch den seine obere Stirnfläche sowie seine Innenseite beaufschlagenden Gasdruck beachtlich verstärkt, so daß hier eine besonders starke Reibung zwischen Kolbenring und Zylinderinnenfläche entstehen kann. Da bei geschmierten Kolbenmaschinen der oberste Kolbenring darüber hinaus nur geringe Schmierstoffmengen zugeführt erhält, können hier Reibungsprobleme wie Verschleiß oder Festfressen an der Zylinderinnenfläche besonders leicht auftreten.

Um den vielfältigen funktionalen Anforderungen gerecht zu werden, werden vielfach beschichtete Kolbenringe eingesetzt. Ein derartiger Kolbenring hat einen Ringkörper, der eine Beschichtung hat, die eine zur Gleitberührung mit der Zylinderinnenfläche vorgesehene radiale Ringaußenfläche bzw. Umfangsfläche bildet. Während der Ringkörper im wesentlichen die Volumenbeanspruchung des Kolbenringes aufnimmt, wird das Material der Beschichtung im Hinblick auf die unmittelbare Wechselwirkung mit dem Reibpartner Zylinderinnenfläche und die damit verbundene Oberflächenbeanspruchung ausgewählt.

Es sind Kolbenringe bekannt, bei denen der Ringkörper an seiner radialen Ringkörperaußenfläche mit einer Beschichtung aus Chrom oder Molybdän beschichtet ist. Mit Chrom beschichtete Kolbenringe haben gute Verschleißfestigkeit, neigen jedoch zum Festfressen und zu stärkerem Abrieb, wenn sie in Verbindung mit Zylinderinnenflächen aus Gußeisen eingesetzt werden. Mit Molybdän beschichtete Kolbenringe verhindern durch die gute Wärmeleitfähigkeit weitgehend das Fressen der Ringe, sind jedoch nicht sehr verschleißfest.

Die herkömmlichen beschichteten Kolbenringe haben sich als wenig geeignet für das Zusammenarbeiten mit Zylinderlaufflächen in modernen Leichtmetallmotoren erwiesen, bei denen als Matrixmaterial für die die Zylinderinnenfläche bildende Lauffschicht ein Leichtmetall eingesetzt wird, insbesondere eine Aluminium- oder Magnesiumlegierung. Diese Materialien werden zur Steigerung ihrer Festigkeit und Verschleißfestigkeit durch feinverteilte, eingelagerte Partikel verstärkt. Bei den Verstärkungspartikeln kann es sich um aus der Schmelze ausgeschiedene Ausscheidungspartikel, beispielsweise Silizium oder intermetal-

2

liche Phasen, handeln, und/oder um beispielsweise keramische Fremdpartikel, insbesondere aus Aluminiumoxid (Korund) und/oder Siliziumcarbid. Diese wie Schleifpartikel wirkenden, abrasiven Verstärkungspartikel wirken sich nachteilig auf die Standfestigkeit herkömmlicher Kolbenringe aus.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen verbesserten Kolbenring für einen Kolben einer Arbeits- oder Kraftmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors, zu schaffen, der nicht nur hohe Verschleißfestigkeit und geringe Freßneigung aufweist, sondern der, insbesondere im Zusammenwirken mit partikelverstärkten Zylinderinnenflächen von Leichtmetallmotoren, dauerhaft gute Laufeigenschaften ermöglicht. Insbesondere sollen der Energieverbrauch und die Schadstoffemission der Kolbenmaschine herabgesetzt werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung einen Kolbenring mit den Merkmalen von Anspruch 1 vor.

Die Erfindung schlägt einen beschichteten Kolbenring vor, bei dem die Beschichtung im wesentlichen durch harten, amorphen Kohlenstoff gebildet ist, zumindest die Ringaußenfläche des Kolbenrings ist mit einer derartigen Beschichtung versehen. Das Material einer derartigen Hartstoff-Außenschicht ist nach Fertigstellung der Außenschicht diamantartig hart, weshalb das Material häufig als diamantartiger Kohlenstoff bzw. "Diamond Like Carbon" (DLC) bezeichnet wird. Der Begriff "diamantartiger Kohlenstoff" bzw. das Kürzel "DLC" werden in dieser Anmeldung allgemein für harte amorphe Kohlenstoffschichten verwendet. Das Material kann eine amorphe oder polymerartige Struktur haben. Es kann Wasserstoff enthalten, beispielsweise in der Größenordnung von 20 bis 30%, über dessen Gehalt der Vernetzungsgrad einstellbar ist. Es kann auch im wesentlichen wasserstofffrei sein. Grundlagen über Struktur und Herstellung von dünnen Kohlenstoffschichten dieser Art sind beispielsweise folgendem Artikel zu entnehmen: "Carbon Thin Films" von J. Angus, P. Koidl und S. Domitz in: "Plasma Deposited Thin Films", Hrsg. J. Mort, F. Jansen, CRC Press, Boca Raton, USA, 1986. Das sehr harte, verschleißfesteste Material zeichnet sich auch durch hohe Elastizität aus, die insbesondere im Hinblick auf die elastischen Eigenschaften des normalerweise metallischen Ringkörpers vorteilhaft ist und ein Abplatzen der Beschichtung bei mechanischer Beanspruchung verhindert. Das gasdichte, chemisch inerte Beschichtungsmaterial kann eine sehr glatte freie Oberfläche bilden, die im Aussehen Glas ähnelt und einen extrem niedrigen Reibungskoeffizienten hat.

Dank ihrer extrem hohen Härte hält eine derartige Beschichtung bzw. Außenschicht der abrasiven Wirkung von schleifend wirkenden Verstärkungspartikeln in Leichtmetall-Laufbuchsen bei entsprechender Schichtdicke ohne weiteres dauerhaft stand. Beim Einlaufen des Motors können Kanten oder Spitzen von vergleichsweise weichen Verstärkungspartikeln unter Plateaubildung schnell beseitigt werden, was den weiteren Verschleiß der Kolbenringe stark herabsetzt, die Gleitreibung der Laufpartner verringert, zu niedrigeren mechanischen Verlusten und damit zu einer günstigeren Emission und Energiebilanz der Kolbenmaschine führt.

Wegen der geringen Adhäsionsneigung der Außenschicht mit der Zylinderinnenfläche kann die Oberfläche der Zylinderwand, falls erwünscht, glatter als herkömmliche Zylinderinnenflächen sein, ohne daß die Freßgefahr wesentlich zunimmt. Die Zylinderinnenfläche kann also beispielsweise feinere Ölhaltespuren aufweisen oder im wesentlichen frei von Ölhalterillen sein, wie sie beispielsweise durch Honen oder Laserbearbeitung herstellbar sind. Dadurch ergibt sich ein verringerter Ölverbrauch, was wiederum die Schadstoff-

## DE 198 25 860 A 1

3

4

emission herabsetzt und unter anderem aus Umweltgesichtspunkten vorteilhaft ist. Zudem kann die Gasdichtigkeit zwischen Kolbenring und Zylinder verbessert werden. Die durch die DLC-Beschichtung mögliche bessere Abdichtung zwischen Kolbenring und Zylinderinnenwand hat bei Kompressoren auch den Vorteil eines geringeren Ölgehaltes in dem Druckgas. Aufgrund der antiadhäsiven Eigenschaften kann bei Leichtmetall-Zylinderwerkstoffen ggf. die Zugabe von Verstärkungspartikeln wie keramischen Fasern oder Partikeln verringert oder sogar ganz vermieden werden. Dies erleichtert die Bearbeitung des Zylinderwerkstoffes.

Die sehr geringe Adhäsionsneigung eines erfindungsgemäß beschichteten Kolbenringes auf einer Zylinderinnenwand hat auch bessere Notlaufeigenschaften der Laufpaarung zur Folge. Insbesondere wird die Erzeugung von Axialriefen vermindert oder ganz vermieden. Derartige, insbesondere beim Einlaufen entstehende, Axialriefen führen einerseits zu Druckverlusten und damit zur Verringerung des Wirkungsgrades der Kolbenmaschine, und andererseits steigern sie ggf. den Ölverbrauch und die Schadstoffemission durch axiales "blow by". Die Vermeidung von Axialriefen kann insbesondere auch bei Grauguß-Laufbuchsen vorteilhaft sein. Bei diesen kann es insbesondere am Beginn des Einlaufvorganges im Bereich von Mischreibung oder Trockenreibung zum Anhaften von Partikeln am Kolben kommen, die durch den Kolben bzw. Kolbenring aus dem Laufbuchsenmaterial ausgerissen werden und die Axialriefen verursachen. Durch die geringe Adhäsionsneigung einer DLC-Außenschicht kann dieser Effekt minimiert werden. Vorteilhaft ist weiterhin, daß eine ausreichend dicke DLC-Außenschicht auch als Verschleißschuttschicht für den Kolbenring wirken kann und dessen Lebensdauer verlängert.

Das Material des die Beschichtung tragenden Ringkörpers kann der beabsichtigten Anwendung entsprechend gewählt werden, da DLC-Beschichtungen auf vielen, insbesondere metallischen, Materialien ohne Zwischenschaltung von haftungsfördernden Zwischenschichten gut haften. So sind beispielsweise Ringkörper aus Gußeisen oder rostbeständigem oder nicht rostbeständigem Stahl möglich. Bei letzteren ist bei kompletter Beschichtung mit diamantartigem Kunststoff eine Korrosionsbeständigkeit ebenfalls gewährleistet. Diese Grundwerkstoffe sind kostengünstig und gut bearbeitbar. Der Ringkörper kann ohne Haftvermittler direkt mit einer DLC-Schicht beschichtet werden. Es ist aber grundsätzlich möglich, zwischen einer DLC-Außenschicht und dem Ringkörper eine oder mehrere Zwischenschichten anzuordnen.

Obwohl es besonders kostengünstig und für viele Anwendungen ausreichend sein kann, wenn nur radiale Ringkörperaußenflächen mit einer Beschichtung versehen sind, ist es möglich, daß auch die axiale Oberseite und/oder die axiale Unterseite und/oder die radiale Innenseite des Ringkörpers wenigstens bereichsweise mit einer Außenschicht beschichtet ist, die mindestens im oberflächennahen Außenbereich im wesentlichen durch diamantartigen Kohlenstoff gebildet ist. Eine derartige Axial- und/oder Innenbeschichtung kann die Gleitreibung des in einer Ringnut des Kolbens liegenden Kolbenringes gegenüber dem Kolben vermindern und erleichtert die Bewegung des Kolbenrings innerhalb seiner Nut. Diese Beweglichkeit fördert zum einen die Anpassung des Kolbenringes an die Zylinderinnenfläche, und wirkt somit verschleißmindernd und abdichtungsfördernd. Zudem wird durch diese Beweglichkeit die Beseitigung von Verbrennungsrückständen, die sich in den Spalten zwischen Kolbenring und Ringnut ablagern können, gefördert.

Die Schichtdicke der DLC-Außenschicht kann nach Anwendungs- und Kostengesichtspunkten gewählt werden. Sie liegt normalerweise unterhalb von 20 µm, insbesondere zwi-

schen ca. 0,5 µm und 15 µm. Besonders preiswert herstellbar sind geringe Schichtdicken bis hinunter zu ca. 0,5 µm, die insbesondere dann eingesetzt werden können, wenn vor allem eine Verbesserung des Einlaufverhaltens gewünscht ist und es nicht erforderlich ist, über die gesamte Betriebsdauer eine DLC-beschichtete Umfangsfläche zu haben. Für den Dauerbetrieb, vor allem in Zusammenarbeit mit Laufflächen mit stark verschleißenden Partikeln, kann die Schichtdicke beispielsweise in der Größenordnung von ca. 10 µm liegen. Die Schichtdicke kann über die gesamte Außenschicht etwa gleichförmig sein oder es können dickere neben dünneren Schichtbereichen vorgesehen sein.

Da die Beschichtung bei großen Schichtdicken von beispielsweise zwischen 5 und 15 µm in vorteilhafter Weise vorhandene geringfügige Oberflächenrauigkeiten der beschichteten Unterlage teilweise ausgleichen kann, kann insbesondere bei größeren Beschichtungsstärken die Vorbearbeitung der beschichteten Oberfläche, insbesondere des Ringkörpers, kostengünstig relativ grob erfolgen. Eine gewisse Rauigkeit der beschichteten Außenfläche erhöht sogar vorteilhaft die Haftung zwischen Unterlage und Beschichtung. Insbesondere bei geringen Beschichtungsstärken, beispielsweise in der Größenordnung von 1 µm oder darunter, kann es erforderlich werden, die zu beschichtende Oberfläche, insbesondere des Ringkörpers, beispielsweise durch Läppen oder Honen zu glätten, da die wirksamen äußeren Oberflächen topographietreuer, sehr dünner Beschichtungen im wesentlichen die Rauigkeit der Unterlage aufweisen können. Damit die beschichteten Kolbenringe nicht selbst eine abrasive Wirkung auf die Zylinderinnenwand ausüben, ist es zweckmäßig, wenn die Rauigkeit der Kolbenringe im Bereich der Ringaußenfläche eine gemittelte Rauhtiefe  $R_z$  von ca. 3 µm und/oder eine maximale Rauhtiefe  $R_{max}$  von ca. 5 µm nicht wesentlich überschreitet, vorzugsweise unterhalb dieser Werte liegt.

Die Außenschicht kann senkrecht zur lateralen Ausdehnung der Schicht homogene Eigenschaften, insbesondere bzgl. Zusammensetzung und mechanischer Eigenschaften wie Härte oder dergleichen, haben. Derartige Beschichtungen sind durch Konstanthaltung der Beschichtungsparameter einfach herzustellen. Andere Ausführungen zeichnen sich dadurch aus, daß die Außenschicht in Richtung senkrecht zu ihrer lateralen Ausdehnung inhomogen ist, wobei sowohl ein Schichtaufbau mit übereinanderliegenden, sich bzgl. ihrer Eigenschaften unterscheidenden, gesonderten Lagen möglich ist, als auch ein Aufbau der Außenschicht als Gradientenschicht mit senkrecht zur lateralen Ausdehnung im wesentlichen kontinuierlich veränderlichen Eigenschaften. Ein inhomogener Aufbau kann durch geeignete Variation der Beschichtungsparameter und/oder durch Variation und/oder Mischung von Beschichtungsmaterialien einschließlich dem Grad der Wasserstoffeinlagerungen erreicht werden. Bei dickeren Außenschichten hat sich ein inhomogener Schichtaufbau insbesondere zum Abbau von Spannungen innerhalb der Schicht bewährt. Eine Ausführungsform, bei der ein die Ringaußenfläche bildender Schicht-Außenbereich weicher ist als ein darunter liegender Schicht-Innenbereich, zeichnet sich durch besonders gute Einlaufeigenschaften aus und kann sich selbst an die Geometrie der Zylinderbohrung noch anpassen.

Die DLC-Schicht besteht im wesentlichen aus Kohlenstoff, ggf. mit Wasserstoff-Anteilen. Es ist möglich, daß sie Einlagerungen anderer Stoffe aufweist, wobei die Einlagerungen bzw. Dotierungsstoffe vorzugsweise im wesentlichen aus Metallnitrid, Metallkarbid oder Metallkarbonitrid bestehen, insbesondere auf Basis von Carbid- und/oder Nitrid-Bildern wie Titan, Wolfram, Tantal oder Molybdän. Die Einlagerungen liegen normalerweise in molekularer Form

## DE 198 25 860 A 1

5

oder in Form kleinster, submikroskopischer Agglomerate fein verteilt in der Kohlenstoffmatrix vor. Durch ihre Konzentration und räumliche Anordnung können die mechanischen Eigenschaften der Schicht vorteilhaft eingestellt werden.

Zur Herstellung der DLC-Außenschicht kann jedes geeignete Dünnschichtverfahren eingesetzt werden, beispielsweise das Sputtern von einem Kohlenstoff-Target, beispielsweise durch elektrische Funkentladung oder Elektronenstrahl. Beim Sputtern können durch den Einsatz mehrerer unterschiedlicher Targets auf einfache Weise die genannten Einlagerungen oder andere Zusammensetzungsänderungen der Beschichtung eingestellt werden. Es ist auch möglich, beim Aufbau der Außenschicht eine laserinduzierte Plasmaabscheidung einzusetzen, beispielsweise mittels gepulstem Laser kurzer Wellenlänge, etwa einem Excimer-Laser. Besonders variabel und kostengünstig läßt sich die Außenschicht durch plasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD, Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) herstellen, wobei sowohl ein Einkammer-Verfahren, als auch ein Mehrkammer-Verfahren eingesetzt werden kann. Die DLC-Außenschicht kann direkt auf den Ringkörper oder auf eine auf diesem aufgebraute Zwischenschicht aufgebracht werden.

Durch die Erfindung ist also ein beschichteter Kolbenring geschaffen, dessen Einsatz in einer Kolbenmaschine mit in einem Zylinder geführten Kolben eine Vielzahl von Vorteilen bringt. Insbesondere sind geringer Energieverbrauch bzw. verbesserter Wirkungsgrad, ggf. geringer Ölverbrauch, damit zusammenhängend geringere Schadstoffemissionen und verbessertes Einlaufverhalten zu nennen. Diese durch die vorgeschlagene Verwendung von DLC-Schichten zur Beschichtung von Kolbenringen erzielbaren Vorteile sind beispielsweise in Kolbenmaschinen erreichbar, bei denen die Zylinderinnenfläche durch ein Graugußmaterial gebildet ist. Besondere Vorteile gegenüber herkömmlichen beschichteten oder unbeschichteten Kolbenringen ergeben sich im Zusammenwirken mit partikelverstärkten Laufflächen, also in solchen Maschinen, bei denen das Material der Zylinderinnenfläche fein verteilte, abrasiv wirkende Partikel aus hartem Material, beispielsweise Ausscheidungspartikel und/oder Fremdpartikel, insbesondere aus Silizium, Siliziumcarbid und/oder Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), aufweist. Die Partikel sind vorzugsweise in einer Leichtmetallmatrix, insbesondere auf Basis von Aluminium oder Magnesium, eingebettet. Durch die Verwendung erfindungsgemäßer Kolbenringe lassen sich somit insbesondere langlebige, schadstoffarme Verbrennungskraftmotoren mit niedrigem Energiebedarf und hohem Wirkungsgrad sowie geringer Schadstoffemission aufbauen.

Weitere Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform in Verbindung mit den Zeichnungen und den Unteransprüchen. Hierbei können die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Kombination miteinander bei einer Ausführungsform verwirklicht sein. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kolbenringes mit Teilen eines Kolbens und eines Zylinders,

Fig. 2 eine schematische, stark vergrößerte Darstellung des in Fig. 1 eingekreisten Kontaktbereiches zwischen Kolbenring und Zylinderinnenwand, und

Fig. 3 eine partikelverstärkte Zylinderinnenwand mit herausstehendem Hartstoffpartikel vor (Fig. 3a) und nach (Fig. 3b) dem Einlaufen mit einem erfindungsgemäßen Kolbenring.

6

Die schematische Darstellung in Fig. 1 zeigt einen Kompressionskolbenring 1, der in der brennraum nächsten Umfangsnut 2 eines Hubkolbens 3 eines Kfz-Verbrennungsmotors mit Axial- und Seitenspiel eingesetzt ist. Der Leichtmetallkolben 3 läuft in einem Zylinder 4 eines Leichtmetallkurbelgehäuses. Der Kolbenring 1 hat einen im Querschnitt etwa rechteckförmigen Ringkörper 5 aus rostfreiem Stahl hoher Korrosionsbeständigkeit und Elastizität auch bei hohen Temperaturen. Der Ringkörper hat eine im wesentlichen zylindrische Ringkörperinnenfläche 6, die mit radialem Abstand zur radialen Innenwand der Umfangsnut 2 angeordnet ist, sowie eine im wesentlichen ebene Ringkörperoberseite 7 und eine hierzu parallele Ringkörperunterseite 8. Die radial außenliegende Ringkörperaußenfläche 9 des Rechteckringes ist zur zylindrischen Zylinderinnenfläche bzw. Zylinderinnenwand 10 geringfügig konvex gekrümmt und liegt radial außerhalb der in einem Abstand zur Zylinderinnenwand 10 ohne Berührungskontakt mit dieser angeordneten, zylindrischen Kolbenaußenfläche 11.

Der in Fig. 1 gezeigte, sogenannte "ballige" Ring 1 steht beispielhaft für alle in Kolbenmaschinen verwendbaren Ringarten bzw. -formen. Insbesondere können alternativ oder zusätzlich auch Minutenringe, Minuten-Nasenringe und/oder Abstreifringe erfindungsgemäß ausgebildet sein.

Wie besonders in Fig. 2 gut zu erkennen ist, ist auf die nach einer schleifenden Vorbearbeitung oder Sandstrahlen geringfügig aufgeraute Ringkörperaußenfläche 9 eine ca. 5 µm dicke Außenschicht 15 aufgebracht, die im wesentlichen aus diamantartigen Kohlenstoff (DLC) besteht. Die DLC-Beschichtung 15 wurde durch plasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung, d. h. durch eine Abscheidung von DLC durch ein kohlenstoffhaltiges Gas mittels Gasentladung ohne Zwischenschaltung von Haftvermittlern direkt auf die metallisch blanke Ringkörperaußenfläche 9 aufgebracht. Sie hat auf der gesamten Ringkörperaußenfläche 9 etwa gleichförmige Dicke und eine im Vergleich zur Ringkörperaußenfläche 9 glattere radiale Außenseite 16, die die zur Gleitberührung mit der Zylinderinnenfläche 10 vorgesehene, wirksame radiale Ringaußenfläche oder Umfangsfläche des Kolbenringes 1 bildet. Das Material der Außenschicht 15 hat eine diamantartig hohe Härte, wobei Festigkeitswerte bis in die Größenordnung von ca. 30 GPa oder darüber erreichbar sind. Die Mikrostruktur dieser extrem verschleißfesten Hartstoffschicht ist jedoch nicht kristallin, sondern polymerartig amorph und hat eine hohe Elastizität, so daß auch bei Druckbeanspruchung das Beschichtungsmaterial nicht von dem ebenfalls elastischen Material des Ringkörpers 5 abplatzt. Das Material hat, gefördert durch die sehr glatte Oberfläche, einen extrem niedrigen Reibbeiwert und ist chemisch inert, insbesondere auch gegen Kohlenwasserstoff-Verbindungen, wie sie in Treibstoffen und Schmiermitteln vorliegen. Weiterhin zeigt das Material sehr geringe Adhäsionsneigung zum Material der Zylinderinnenwand 10. Dadurch kann das bei herkömmlichen Kolbenringen insbesondere beim Einlaufen der Maschine beobachtete Ausreißen von Teilchen des Zylinderwandmaterials verhindert oder zumindest so weit reduziert werden, daß die Erzeugung von axialen Einlaufriefen, durch die sowohl Gas als auch Öl "abpfeifen" können, reduziert oder ganz vermieden werden kann.

Obwohl es möglich ist, daß nur die radiale Ringkörperaußenfläche 9 ganz oder zumindest im zylinderwandnahen Bereich eine DLC-Beschichtung aufweist, sind bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform auch die axialen, ringförmigen Oberflächen 7, 8 des Kolbenringes sowie dessen Innenseite 6 mit einer DLC-Schicht beschichtet, die in einem Arbeitsgang mit der radialen Außenschicht 15 aufgebracht wurde. Diese Beschichtung der im Betrieb mit den Innen-

## DE 198 25 860 A 1

7

wänden der Kolben-Ringnut 2 in Kontakt tretenden Ringkörper-Oberflächen fördert die Beweglichkeit des Kolbenringes 1 in seiner Führungsnut 2 sowohl in radialer und axialer Richtung, als auch in Umfangsrichtung. Damit kann einem Festwerden des Kolbenrings in der Nut 2 verhindert werden. Insbesondere sorgt die Beweglichkeit des Kolbenringes für einen Abtransport möglicherweise in den spaltförmigen Zwischenräumen zwischen Ringnut und Kolbenring sich ansammelnder Verbrennungsrückstände, die ein Festbacken des Kolbenringes im Kolben verursachen und damit die Anpassungsfähigkeit des Kolbenringes an die Zylinderinnenwand behindern können. Die Beschichtung von Ober-, Unter- und/oder Innenseite des Kolbenrings mit diamantartigem Kohlenstoff kann auch bei Kolbenringen vorteilhaft sein, deren radiale Außenseite nicht oder mit anderen Materialien beschichtet ist. Durch die antiadhäsive Beschichtung kann zudem das Spiel in der Ringnut verringert werden, was ebenfalls zu einer Verringerung von "blow by" und Ölverbrauch beiträgt.

In den Fig. 1 und 2 ist ein erfindungsgemäßer Kolbenring in Laufpartnerschaft mit einer Zylinderinnenfläche 10 gezeigt, die an einem Zylinder aus einem partikelverstärkten Material ausgebildet ist. Partikelverstärkte Zylinderwandungen können beispielsweise durch galvanisch oder stromlos aufgetragene Nickel- oder Chromschichten gebildet sein, die Hartstoffpartikel aus Siliziumcarbid, Titanitrid oder Aluminiumoxid aufweisen und die beispielsweise unter den Bezeichnungen Nikasil bzw. Galnikal (eingetragene Marken) bekannt sind. Eine Zylinderwandung kann auch durch partikelhaltige Beschichtungen nach dem Plasma- oder Flammstutz-Verfahren hergestellt sein. Hier besteht die Metallmatrix normalerweise überwiegend aus Eisen oder auch Aluminium mit Partikeln wie Zirkonoxid, Siliziumcarbid, Aluminiumoxid bzw. Korund, Siliziumnitrid oder zirkonlegiertem Korund. Eine dritte Materialgruppe für partikelverstärkte Zylinderwandungen bilden die Aluminium-Silizium-Legierungen, beispielsweise übereutektisch gegossene Buchsen oder KurAluminum mit ca. 15 bis 22% Silizium, die auch über Wärmebehandlung ausscheidungsgehärtet werden können, oder sprühkompaktierte Werkstoffe mit beispielsweise 12 bis 30% Silizium, die u. a. unter den Bezeichnungen Silitec oder Dispal (eingetragene Marken) bekannt sind. Es kann sich um Infiltrationswerkstoffe handeln, die beispielsweise durch Reaktionsinfiltration, Squeeze casting oder Druckguß hergestellt werden. Weiterhin kann es sich um Leichtmetall-Werkstoffe, beispielsweise mit Legierungen mit Aluminium- oder Magnesiumbasis handeln, in denen als ggf. fasrige Verstärkungspartikel solche aus Aluminiumoxid, Siliziumcarbid, Siliziumnitrid o. dgl. und/oder Fasern aus Kohlenstoff oder Mullit verteilt sind. Verstärkungspartikel können auch aus Schmelzkorund, Sol-Gel-Korund, Sinterkorund, zirkonlegiertem Korund, Zirkonoxid, kubischem Bornitrid, Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid bestehen. Die Partikel können beispielsweise durch Einrühren in die Schmelze, Sprühkompaktieren, Reaktionsinfiltrieren oder Infiltrieren mit oder ohne Druck in das Matrixmaterial eingebracht sein.

Partikelverstärkte Materialien werden zunehmend in Zylinderlaufbuchsen und/oder Kurbelgehäusen moderner Leichtmetall-Verbrennungsmotoren oder in Arbeitsmaschinen, z. B. Kompressoren, eingesetzt und sollen es unter anderem ermöglichen, dem vorteilhaft leichten Matrixmaterial, das beispielsweise aus einer Aluminium- oder Magnesiumlegierung bestehen kann, zumindest im Bereich der Zylinderinnenwand 10 die gewünschten Oberflächeneigenschaften, insbesondere Verschleißfestigkeit und eine vorteilhafte Oberflächenstruktur zu geben. Ein Beispiel einer derartigen Zylinderlaufbuchse ist in der DE 44 38 550 be-

8

schrieben. Im Beispiel der Fig. 1 und 2 handelt es sich bei den Partikeln 20 um Fremdpartikel aus Aluminiumoxid bzw. Korund, die feinverteilt in einer Magnesium-Basislegierung des Zylinders 4 vorliegen.

Die Hartstoffpartikel 20, zwischen denen in Fig. 2 Honriefen 21 zu erkennen sind, haben die erwünschte Funktion, der Zylinderinnenfläche 10 eine ausreichende Festigkeit und/oder Verschleißfestigkeit zu verleihen. Die in der Regel scharfkantig begrenzten Partikel haben jedoch eine abrasive Wirkung und führen daher, insbesondere in der Einlaufphase eines Motors, zu einem relativ hohen Verschleiß an den Kolbenringen. Erfindungsgemäße Kolbenringe sind aufgrund der hohen Verschleißfestigkeit der Beschichtung 15 hervorragend an das Zusammenwirken mit partikelverstärkten, oder auch keramischen oder nitrierten Zylinderlaufflächen, insbesondere auch Aluminium-Zylinderlaufflächen, angepaßt.

Die extreme Härte der Beschichtung erlaubt es sogar, einen mit erfindungsgemäßen Kolbenringen ausgestatteten Kolben zur "Nachbearbeitung" der Zylinderinnenfläche zu verwenden, wie es in Fig. 3 veranschaulicht ist. Die in Fig. 3(a) zu erkennenden, aus der Oberfläche 10 herausstehenden, ggf. scharfkantigen Bereiche 22 der Hartstoffpartikel, die weicher sind als das Beschichtungsmaterial, werden unter Bildung von Plateaus 23 abgetragen (Fig. 3(b)), so daß die Zylinderoberfläche 10 geglättet wird und damit weniger verschleißfördernd wird. Zudem kann sich eine Verbesserung der Bohrungsgeometrie während des Motorlaufs ergeben, indem der Kolbenring die Zylinderinnenfläche durch sanftes Abschaben bis zum vollständigen Anliegen bearbeitet, ohne daß Partikel aus der Matrix herausgerissen werden.

Es kann ggf. sogar der Bearbeitungsschritt zur Rücksetzung der Metallmatrix bei der Zylinderwand, wie er beispielsweise in der DE 44 38 550 beschrieben ist, eingespart werden. Dieser Schritt wird herkömmlich vorgenommen, um die Zylinderinnenfläche, wie in Fig. 2 gezeigt, so zu strukturieren, daß der Kolbenring möglichst nicht direkt mit dem weichen Matrixmaterial des Zylinders 4 in Berührung kommt und sich in den Bereichen zwischen den hervorstehenden Partikeln Ölhaltetaschen bilden, die die Schmierung der Laufpartner fördern. Die erforderliche Menge an Schmierstoff kann bei Einsatz erfindungsgemäßer Kolbenringe erheblich reduziert werden, da wegen der Schichteigenschaften ein Fressen des Kolbenringes mit dem metallischen Matrixmaterial vermieden werden kann. Die maximale Rauigkeit der fertigbearbeiteten, faser- und/oder partikelhaltigen Oberflächen sollte Werte der gemittelten Rauhtiefe  $R_z$  von ca. 4 µm nicht überschreiten, da sonst eine Schädigung sowohl der Partikel, als auch der Ringbeschichtung auftreten könnte.

Die in den Fig. 1 und 2 gezeigte Ausführungsform eines Kolbenringes hat eine für Dauerbetrieb ausgelegte, ca. 5 µm dicke Außenschicht 15, die zum Abbau von Spannungen innerhalb der Schicht einen senkrecht zur Schicht inhomogenen Schichtaufbau hat. Ausführungsformen mit in Dickenrichtung inhomogenem Schichtaufbau können insbesondere so hergestellt werden, daß ein die Ringaußenfläche bildender Schichtaußenbereich weicher ist als ein darunterliegender, in Kontakt mit dem Ringkörper stehender Schichtinnenbereich. Die Schichtaußenbereiche können so weich sein, daß sie sich der Zylinderwand zu Beginn des Betriebes gut anpassen und damit besonders gut abdichtende Kolbenringe ermöglicht werden.

Auch sehr dünne Schichten, beispielsweise in der Größenordnung zwischen 0,5 µm und 1 µm, können vorteilhaft sein. Sie sind preiswert und können beispielsweise zur Verbesserung des Einlaufverhaltens, insbesondere in Verbindung mit partikelverstärkten Leichtmetall-Zylinderwandun-

## DE 198 25 860 A 1

9

10

gen, eingesetzt werden. Die Einlaufschrift kann sich beim Glätten der Hartstoffpartikel selbst langsam durch Abrieb aufbrauchen, so daß die Beschichtung im Dauerbetrieb nur noch teilweise oder gar nicht mehr vorhanden ist. Als direkt an die DLC-Schicht angrenzendes Substrat kann sogar ein bereits andersartig, beispielsweise mit Chrom, beschichteter Kolbenring in Frage kommen.

Eine andere, nicht bildlich dargestellte vorteilhafte Anwendung erfindungsgemäßer Kolbenringe ergibt sich, wenn die Zylinderwand besonders glatt ist. Denn durch die geringe Adhäsionsneigung erfindungsgemäßer Beschichtungen sowie deren geringer Reibwerte können auch bei größerflächigem Andruckkontakt zwischen Kolbenringaußenfläche und Zylinderinnenwand leicht gleitende Laufpaarungen gebildet werden. Es ist also möglich, die Anzahl und/oder Tiefe der normalerweise an der Zylinderinnenseite vorgesehenen, üblicherweise durch Honen oder Laserbearbeitung eingebrachten Ölhalterillen zumindest im Bereich der Kolbenringbewegung zu verringern. Als Folge kann ein geringerer Ölverbrauch und entsprechend geringere Schadstoffemission bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad erreicht werden. Bei laserstrukturierten Zylinderlaufflächen ergibt sich als zusätzlicher Vorteil, daß die den Kolbenringverschleiß normalerweise erhöhenden Aufhärtungen in der Randzone von durch Laser erzeugten Vertiefungen bei erfindungsgemäßen Kolbenringen weniger stark verschleißend wirken.

Für Laufflächen, die frei von Partikeln sind, beispielsweise Laufflächen mit Gußeisen, Stahl oder Aluminium, können mittlere Rauhtiefen  $R_z$  bis zu ca. 10 µm betragen. Plateaustrukturen mit reduzierten Riefentiefen RVK von z. B. 0,5 bis ca. 2,0 µm und/oder reduzierten Spitzenhöhen RPK von maximal ca. 0,2 µm haben sich besonders als Gleitflächen bewährt. Bei den glatten Flächen können wegen der antiadhäsiven Eigenschaften der Beschichtung Werte R der Mittenrauigkeit bis hinunter zu beispielsweise 0,01 µm gewählt werden.

Erfindungsgemäße Kolbenringe können nicht nur in Verbrennungsmotoren wie Diesel- oder Ottomotoren eingesetzt werden, sondern beispielsweise auch in Stirling-Motoren, wie sie zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden können. Vorteilhafte Anwendungen können sich auch in Arbeitsmaschinen wie Kompressoren bzw. Verdichtern, Pumpen o. dgl. ergeben. Bei Kompressoren kann insbesondere ein geringerer Ölgehalt in dem Druckgas, insbesondere der Druckluft, erreicht werden.

## Patentansprüche

1. Kolbenring für die Verwendung an einem Kolben, der in einem Zylinder einer Kraft- oder Arbeitsmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors, angeordnet oder anordenbar ist, mit einem Ringkörper, der eine Beschichtung hat, die eine zur Gleitberührung mit einer Zylinderinnenfläche vorgesehene Ringaußenfläche bildet, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Beschichtung (15) mindestens im oberflächennahen Bereich im wesentlichen durch harten, amorphen Kohlenstoff gebildet ist.
2. Kolbenring nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ringkörper (5) im wesentlichen aus Gußeisen oder Stahl, bei Schichtdicken der Beschichtung bis zu ca. 1 µm vorzugsweise aus nitriertem oder chrombeschichtetem Stahl, besteht.
3. Kolbenring nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberseite (7) und/oder die Unterseite (8) und/oder die Innenseite (6) des Ringkörpers (5) mindestens bereichsweise eine Beschichtung auf-

weist, die mindestens in oberflächennahen Bereich im wesentlichen durch harten, amorphen Kohlenstoff gebildet ist.

4. Kolbenring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) eine Schichtdicke von weniger als 20 µm hat, insbesondere zwischen 0,5 µm und 15 µm, vorzugsweise ca. 5 µm.

5. Kolbenring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) zumindest im Bereich der Ringaußenfläche (16) eine gemittelte Rauhtiefe  $R_z$  von weniger als ca. 3 µm hat.

6. Kolbenring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) in Richtung senkrecht zur lateralen Schichtausdehnung inhomogen ist.

7. Kolbenring nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) als Gradientenschicht mit senkrecht zur lateralen Schichtausdehnung kontinuierlich veränderlichen Eigenschaften, insbesondere kontinuierlich veränderlicher Härte, ausgebildet ist.

8. Kolbenring nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) einen die Ringaußenfläche (16) bildenden Schichtaußenbereich aufweist, der weicher ist als ein darunterliegender Schichtinnenbereich.

9. Kolbenring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) feinverteilte, vorzugsweise submikroskopische Einlagerungen aufweist, wobei die Einlagerungen vorzugsweise im wesentlichen aus Metallnitrid, Metallkarbid oder Metallkarbonitrid bestehen, insbesondere auf Basis von Titan, Wolfram, Tantal und/oder Molybdän.

10. Kolbenring nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (15) durch plasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) aufgebracht ist.

11. Kolben für eine kolbenbetriebene Arbeits- oder Kraftmaschine, insbesondere einen Verbrennungsmotor, an dem mindestens ein Kolbenring nach einem der Ansprüche 1 bis 10 angeordnet ist.

12. Kolbenbetriebene Arbeits- oder Kraftmaschine, insbesondere Verbrennungsmotor, mit mindestens einem Zylinderinnenfläche aufweisenden Zylinder, in dem ein Kolben mit mindestens einem Kolbenring angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Kolbenring nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist.

13. Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderinnenfläche zumindest in dem vom Kolbenring durchlaufenen Bereich laserstrukturiert ist.

14. Maschine nach Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderinnenfläche eine Plateaustruktur mit einer reduzierten mittleren Riefentiefe RVK zwischen ca. 0,5 µm und ca. 2,0 µm und/oder mit einer reduzierten Spitzenhöhe von maximal ca. 0,2 µm hat.

15. Maschine nach einem der Ansprüche 12 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderinnenfläche zumindest in dem vom Kolbenring durchlaufenen Bereich glatt und im wesentlichen frei von Ölhaltevertiefungen, wie durch Honbearbeitung oder Laserbearbeitung erzeugte Ölhalterillen, ist.

16. Maschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderinnenfläche, zumindest in

DE 198 25 860 A 1

11

12

den vom Kolbenring durchlaufenen Bereich, eine arithmetische Mittenrauhigkeit  $R_a$  von nicht mehr als  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  hat, vorzugsweise zwischen  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  und  $0,01\text{ }\mu\text{m}$ .

17. Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Zylindermaterial zumindest im Bereich der Zylinderinnenfläche (10), feinverteilte Partikel (20) aus hartem Material, insbesondere Ausscheidungspartikel und/oder Fremdpartikel, vorzugsweise aus Siliziumkarbid und/oder Aluminiumoxid, aufweist, wobei die Partikel (20) vorzugsweise in einer Leichtmetallmatrix eingebettet sind, vorzugsweise auf Aluminium- oder Magnesiumbasis.

18. Maschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderinnenfläche, zumindest in dem vom Kolbenring durchlaufenen Bereich, eine gemittelte Rauhtiefe  $R_z$  von nicht mehr als ca.  $4\text{ }\mu\text{m}$  hat.

19. Verfahren zur glättenden und/oder die Bohrungsgeometrie verbessernden Bearbeitung einer Zylinderinnenfläche eines, insbesondere zumindest im Bereich der Zylinderinnenfläche aus partikelverstärktem Material bestehenden, Zylinders einer Kraft- oder Arbeitsmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors, bei dem ein mit mindestens einem Kolbenring nach einem der Ansprüche 1 bis 10 versehener Kolben in dem Zylinder hin- und hergeführt wird.

20. Verwendung eines mit mindestens einem Kolbenring nach einem der Ansprüche 1 bis 10 versehenen Kolbens zur glättenden Bearbeitung einer Zylinderinnenfläche eines, insbesondere zumindest im Bereich der Zylinderinnenfläche aus partikelverstärktem Material bestehenden, Zylinders einer Kraft- oder Arbeitsmaschine, insbesondere eines Verbrennungsmotors.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65



ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenlegungstag:

DE 198 25 860 A1  
F 16 J 9/26  
16. Dezember 1999

